

# ESTIMATING MAXIMUM FRICTION COEFFICIENT BASED ON KNOWLEDGE OF LOADS AND SELF-ALIGNMENT TORQUE GENERATED IN A TYRE CONTACT ZONE

**Publication number:** FR2835919

**Publication date:** 2003-08-15

**Inventor:**

**Applicant:** MICHELIN SOC TECH (FR); MICHELIN RECH TECH (CH)

**Classification:**

- **international:** G01M17/02; B60C19/00; B60R16/02; B60T8/172;  
G01M17/02; B60C19/00; B60R16/02; B60T8/17; (IPC1-7): G01N19/02; G01M17/02

- **european:** B60T8/172C

**Application number:** FR20020001597 20020208

**Priority number(s):** FR20020001597 20020208

**Also published as:**

- WO03066400 (A1)
- EP1476339 (A1)
- US7069135 (B2)
- US2005065699 (A1)
- EP1476339 (A0)

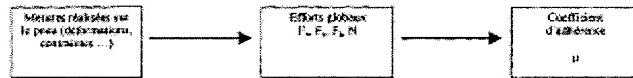
[more >>](#)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for FR2835919

Abstract of corresponding document: **WO03066400**

The invention concerns a method comprising the following steps: selecting several fixed points in space, located at different azimuths along the circumference in at least one sidewall of the tyre, performing as many measurements of circumferential distance variation (extension or contraction) at those fixed points when the tyre is running on the road surface, processing the measurement signals so as to extract therefrom the three components of a resultant of the loads exerted by the road surface on the contact zone of a tyre and the self-alignment torque generated by the tyre, processing the signals evaluating the three components of a resultant of the loads exerted by the road surface on the contact zone of a tyre and the self-alignment torque generated by the tyre so as to extract therefrom said friction coefficient mu .



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) Nº de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 835 919

(21) Nº d'enregistrement national :

02 01597

(51) Int Cl<sup>7</sup> : G 01 N 19/02, G 01 M 17/02

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 08.02.02.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : SOCIETE DE TECHNOLOGIE  
MICHELIN Société anonyme — FR et MICHELIN  
RECHERCHE ET TECHNIQUE SA — CH.

(43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 15.08.03 Bulletin 03/33.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du  
présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

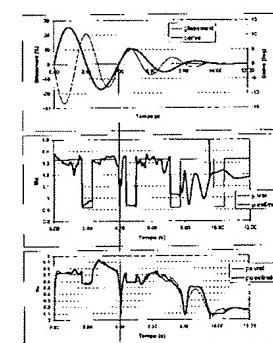
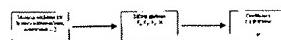
(72) Inventeur(s) :

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : COMPAGNIE GENERALE DES ETA-  
BLISSEMENTS MICHELIN -MICHELIN ET CIE.

(54) MESURE DE COEFFICIENT D'ADHERENCE MAXIMAL A PARTIR DE LA CONNAISSANCE DES EFFORTS ET  
DU COUPLE D'AUTOALIGNEMENT GENERES DANS L'AIR DE CONTACT D'UN PNEU.

(57) La méthode proposée comporte les étapes suivantes:  
· sélectionner plusieurs points fixes dans l'espace, si-  
tués à des azimuts différents le long de la circonférence  
dans au moins un flanc du pneu,  
· effectuer autant de mesures de variation de distance  
circonférentielle (extension ou contraction) à ces points  
fixes lorsque le pneu roule sur la chaussée  
· traiter les signaux de mesure de façon à en extraire les  
trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la  
chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et le cou-  
ple d'auto-alignement généré par le pneu,  
· traiter les signaux d'évaluation des trois composantes  
d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire  
de contact d'un pneumatique et du couple d'auto-aligne-  
ment généré par le pneu de façon à en extraire ledit coeffi-  
cient d'adhérence v.



FR 2 835 919 - A1



La présente invention se rapporte à l'évaluation de l'adhérence d'un véhicule sur une chaussée. Elle concerne plus particulièrement la détermination des caractéristiques d'effort et de l'adhérence dans le contact entre la chaussée et une roue de véhicule,  
5 équipée d'un bandage élastique tel qu'un pneu gonflé ou un bandage élastique non pneumatique qui roule sur la chaussée.

La présente invention concerne aussi les divers dispositifs d'assistance électronique utilisés par exemple pour la régulation antiblocage des freins d'un véhicule ou la  
10 régulation anti-patinage des roues motrices, le contrôle de trajectoire d'un véhicule ou encore pour d'autres formes de contrôle ou de surveillance comme la pression des pneus. On sait que de tels dispositifs reconstruisent par calcul le coefficient d'adhérence ( $\mu$ ) des pneus sur la chaussée, sans avoir procédé à la moindre mesure ni du coefficient d'adhérence ni des efforts développés dans le contact des pneus au sol. Même si ces  
15 dispositifs apportent une assistance remarquable et un surcroît de sécurité, leur fonctionnement gagnerait beaucoup à utiliser une valeur mesurée, ou estimée à partir de mesures réelles effectuées sur le pneu en fonctionnement.

C'est pourquoi l'objectif de la présente invention est de proposer une évaluation des  
20 efforts en jeu dans le contact du véhicule sur la chaussée, et une évaluation de l'adhérence d'un véhicule sur une chaussée. Elle concerne plus particulièrement la détermination de caractéristiques d'efforts et de l'adhérence entre la chaussée et une roue de véhicule, ou un pneu ou un bandage élastique, termes considérés comme équivalents dans le contexte de la présente invention.  
25

Les divers dispositifs d'assistance électronique évoqués ci-dessus profiteraient donc utilement d'indications « en temps réel » sur les efforts et les conditions d'adhérence susceptibles d'affecter le comportement d'un véhicule, notamment dans le cas où il subit une accélération par effort moteur ou par effort freineur ou par changement de  
30 direction de déplacement. L'invention vise à fournir une méthode d'y parvenir de manière efficace.

Dans ce qui suit, on entend par « potentiel d'adhérence maximum » le rapport entre l'effort tangentiel maximal (transversal, longitudinal ou les deux combinés) et l'effort normal que la roue peut subir. Dans le texte, on le désigne aussi par le terme « coefficient d'adhérence maximal » ou la lettre  $\mu$ .

5

On entend par « efforts globaux » les trois composantes de forces  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$  appliquées au centre de la roue et le couple d'auto-alignement  $N$  autour de l'axe  $Z$ .

Dans le but d'estimer le potentiel d'adhérence maximum, il a été proposé d'équiper la  
10 bande de roulement d'un pneu, ou certains éléments de la bande de roulement spécialement adaptés, de capteurs destinés à mesurer ou à estimer les efforts générés localement, en particulier en conditions de glissement. Ces approches, quoique fort prometteuses, présentent néanmoins certaines difficultés intrinsèques. Il est en effet difficile de garantir le bon fonctionnement d'un capteur dans cette zone du pneu, en  
15 particulier avec l'usure de la bande de roulement, pendant toute la vie du pneu. De plus, les estimations fournies par ces capteurs sont très locales et sensibles à l'état de surface de la chaussée.

Or comme on cherche en fait à estimer le potentiel d'adhérence maximum de la roue, il  
20 faut encore le déterminer à partir du potentiel local mesuré.

L'invention détaillée ici se distingue de ces approches locales. Elle propose d'utiliser une mesure des déformations globales du pneu de manière à obtenir une information sur le potentiel d'adhérence maximum de la roue sur le sol. En effet, lorsque le pneu est  
25 soumis à une sollicitation, le point d'application des forces appliquées dans l'aire de contact dépend entre autre du coefficient d'adhérence maxi parce que, dès qu'une partie de l'aire de contact de la roue sur la chaussée est en glissement, sa contribution aux efforts tangentiels est saturée à un niveau qui dépend du coefficient d'adhérence. Les déformations du pneu sont elles mêmes sensibles au déplacement de ce point  
30 d'application. En particulier, l'extension circonférentielle des flancs, sensible aux efforts appliqués, est aussi sensible au déplacement du point d'application des forces dans l'aire de contact.

La méthode proposée utilise des mesures des déformations circonférentielles du flanc en certains azimuts du pneu pour permettre une estimation des efforts et du coefficient d'adhérence maxi.

5

L'invention propose une méthode de détermination des caractéristiques formées par les trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et le couple d'auto-alignement généré par le pneu, et par le coefficient d'adhérence  $\mu$  dans l'aire de contact d'un pneu sur une chaussée, comportant

10 les étapes suivantes :

15

20

- sélectionner plusieurs points fixes dans l'espace, situés à des azimuts différents le long de la circonference dans au moins un flanc du pneu,
- effectuer autant de mesures de variation de distance circonférentielle (extension ou contraction) à ces points fixes lorsque le pneu roule sur la chaussée
- traiter les signaux de mesure de façon à en extraire les trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et le couple d'auto-alignement généré par le pneu,
- traiter les signaux d'évaluation des trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et du couple d'auto-alignement généré par le pneu de façon à en extraire ledit coefficient d'adhérence  $\mu$ .

25

Pour fournir une bonne estimation de  $\mu$ , la méthode nécessite qu'il existe une zone de glissement dans l'aire de contact, qu'elle soit créée par une conception spéciale du pneu ou par un niveau suffisant de sollicitation appliquée au pneu. De manière à obtenir une information fiable même en cas de faible glissement, l'invention propose d'estimer, en plus du potentiel d'adhérence maximal, le pourcentage de potentiel utilisé. Cette grandeur présente en effet l'avantage d'être plus facilement estimée en valeur absolue même pour des sollicitations faibles.

30

La méthode de l'invention est basée sur la constatation du fait que les efforts agissant entre la bande de roulement du pneu et la chaussée provoquent une déformation sensible



et reproductible sous forme d'une extension ou contraction circonférentielle des flancs des pneus. Cette déformation d'extension ou de contraction circonférentielle, si l'on parvient à la mesurer isolément lors de la rotation du pneu en temps réel, peut permettre de connaître à chaque instant le sens et l'intensité des efforts agissant sur le pneu ainsi 5 que le signe et l'intensité du couple d'auto-alignement exercé par le pneu et le coefficient d'adhérence du pneu sur la chaussée.

Sous un aspect particulier mais intéressant, l'invention propose d'estimer la contraction ou l'extension circonférentielle des flancs par la mesure de la distance entre les fils de la 10 nappe carcasse dans les flancs. On peut aussi mesurer la distance entre des (par exemple deux) fils placés dans les flancs pour former un capteur, et qui subissent des mouvements corrélés à ceux des fils de la nappe carcasse. On parlera dans la suite de la mesure de « l'écart entre les fils ». Notons que si cette dénomination est liée à la 15 structure radiale d'un pneu la méthode ne s'applique pas uniquement aux pneus à carcasse radiale. Ainsi, on parlera « d'écart fils » pour désigner la distance moyenne entre deux tracés réalisés sur le flanc à des azimuts voisins mais différents.

Notons que dans le cas où la mesure de l'extension circonférentielle des flancs est réalisée dans l'épaisseur des flancs à un endroit différent de leur fibre neutre en flexion, 20 l'extension circonférentielle inclut une composante due à la flexion du flanc, notamment lors du passage dans l'aire de contact (phénomène aussi appelé « ventre de lapin »). Cette composante due à la flexion n'est en aucun cas un problème et peut être mise à profit pour augmenter la dynamique de variation des signaux utilisés par l'invention en réalisant la mesure d'extension ailleurs que sur la fibre neutre en flexion.

25

La suite de la description explique plus en détails l'invention à l'aide des figures jointes dans lesquelles :

- la figure 1 est une perspective d'un pneu sur lequel on définit des conventions utiles à l'intelligence de l'invention ;
- 30 la figure 2 est une vue de face d'un pneu schématique permettant d'expliquer l'invention ;

la figure 3 est une vue de côté d'un pneu schématique permettant d'expliquer l'invention ;

la figure 4 illustre le cisaillement d'une nervure dans l'aire de contact, ainsi que les contraintes associées ;

5 la figure 5 illustre l'effet du coefficient de frottement sur la répartition des efforts ;

la figure 6 illustre la relation entre N et Fy sur un pneu réel en fonction du coefficient de frottement ;

la figure 7 donne le domaine d'utilisation de la méthode ;

les figures 8a et 8b montrent l'effet de la composante verticale Fz :

10 – où la courbe pleine correspond à une charge verticale de 400 daN,

– où la courbe en pointillés correspond à une charge verticale de 500 daN,

– où la courbe en trait mixte correspond à une charge verticale de 300 daN ;

les figures 9a et 9b montrent l'effet de la composante Fx :

15 – où la courbe pleine correspond à une charge verticale de 400 daN et une absence de force Fx,

– où la courbe en pointillés correspond à une charge verticale de 400 daN et une force Fx de 400 daN (force motrice),

– où la courbe en trait mixte correspond à une charge verticale de 400 daN et une force Fx de - 400 daN (force freineuse) ;

20 les figures 10a et 10b montrent l'effet de la composante Fy :

– où la courbe pleine correspond à une charge verticale de 400 daN sans effort Fy,

– où la courbe en pointillés correspond à une charge verticale de 400 daN avec un effort Fy de 280 daN ;

la figure 11 montre l'architecture de réseau de neurones ;

25 la figure 12 montre des exemples de fonction de transfert où les combinaisons linéaires en entrée sont facultatives. Il est possible d'utiliser un réseau à quatre sorties ou quatre réseaux à une sortie ou toute autre combinaison ;

la figure 13 montre le signal temporel brut et filtré ;

la figure 14 montre l'identification du passage dans l'aire de contact à partir du signal temporel ;

30 la figure 15 montre un exemple de fonctionnement avec un capteur et un modèle ;

la figure 16 montre un exemple de fonctionnement avec trois capteurs et un modèle ;

la figure 17 montre un exemple de fonctionnement avec trois capteurs et deux modèles :

- où les positions indiquées en traits pleins représentent les azimuts auxquels les mesures doivent être prises pour servir d'entrée au modèle 1,
- 5 – où les positions indiquées en traits pointillés représentent les azimuts auxquels les mesures doivent être prises pour servir d'entrée au modèle 2,
- où C1, C2 et C3 représentent les positions des capteurs sur le flanc d'un pneumatique.

la figure 18 est un bloc diagramme de l'estimation des efforts, puis de  $\mu$  à partir des

10 mesures de déformation ;

la figure 19 donne les résultats de l'estimation de  $\mu$  et du pourcentage du potentiel d'adhérence utilisé.

La méthode décrite ici s'appuie sur le fait que chaque force appliquée au pneu dans  
15 l'aire de contact provoque une modification de l'extension circonférentielle des flancs du pneu. Considérons le cas d'un pneu monté sur sa roue et gonflé sur le premier flanc duquel on repère (figure 1) deux points A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> placés sur un même rayon mais séparés dans la direction circonférentielle. Sur le second flanc, aux mêmes azimuts que A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> et sur le même rayon, on choisit deux points B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub>. En l'absence de forces appliquées  
20 sur le pneu, la distance qui sépare les deux points est constante en fonction de l'angle de rotation de l'ensemble monté.

Lorsque le pneu est soumis à des forces, on observe les effets suivants pour chacune des composantes desdites forces :

- 25 • La composante verticale (dénommée Fz) plaque le pneu sur le sol. En créant une aire de contact, elle entraîne une variation de la distance entre les deux points A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> lorsque le pneu est en rotation, traduisant une modification de l'extension circonférentielle des flancs. Les figures 8a et 8b indiquent la distance qui sépare, respectivement les points A et les points B, en fonction de l'azimut auquel ils se trouvent. L'augmentation de la composante verticale appliquée entraîne une extension des deux flancs dans l'aire de contact (augmentation de la distance vers  
30

180°) et une contraction des autres zones du flanc, principalement en entrée et en sortie de l'aire de contact (diminution de la distance partout ailleurs, principalement vers 135° et 225°). Il est aussi intéressant de constater qu'il existe un azimut en entrée de l'aire de contact et un azimut en sortie d'aire de contact où la valeur 5 d'extension circonférentielle est sensiblement indépendante de la composante Fz appliquée. Soit  $\alpha_0$  tel que ces azimuts particuliers soient égaux à (180- $\alpha_0$ )° et (180+ $\alpha_0$ )°.

- La composante horizontale dans la direction de roulage (dénommée Fx) provoque une différentiation des zones situées en entrée et en sortie de l'aire de contact. Ceci 10 se traduit par une évolution de l'extension des flancs essentiellement en entrée et en sortie de l'aire de contact. Les figures 9a et 9b illustrent les effets de la composante Fx des forces appliquées, en indiquant la distance qui sépare, respectivement les points A et les points B, en fonction de l'azimut auquel ils se trouvent. Lorsqu'une force Fx positive est appliquée (couple moteur), les deux flancs sont comprimés 15 dans la direction circonférentielle en entrée d'aire de contact et en extension en sortie d'aire de contact (Diminution de la distance environ vers 135° et augmentation environ vers 225°). Lorsqu'une force Fx négative est appliquée (couple freineur), les deux flancs sont comprimés dans la direction circonférentielle en sortie d'aire de contact et en extension en entrée (Diminution de la distance vers 20 225° et augmentation vers 135°).
  - La composante horizontale dans la direction transverse (dénommée Fy) provoque principalement une différenciation des deux flancs. Les figures 10a et 10b illustrent les effets de ce type de sollicitation, en indiquant la distance qui sépare, respectivement les points A et les points B, en fonction de l'azimut auquel ils se trouvent. Dans le cas d'une sollicitation avec Fy positif, l'un des flancs est 25 principalement mis en extension circonférentielle (augmentation de la distance entre A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>) et l'autre flanc est mis en contraction circonférentielle (diminution de la distance entre B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub>).
- 30 Le couple d'auto-alignement N (moment autour de l'axe vertical) n'est pas à proprement parler un autre effort agissant entre la bande de roulement du pneu et la

chaussée. Il s'agit plutôt d'une conséquence de la façon dont les composantes  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$  sont appliquées dans l'aire de contact. Si le point d'application de la résultante ayant pour composantes  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$  n'est pas le centre de l'aire de contact, cette résultante génère un moment autour de  $Oz$  que l'on appelle couple d'auto-alignement. La présence 5 de ce moment se traduit principalement par une rotation de l'aire de contact autour de  $Oz$ . Cet effet a pour conséquence par exemple une extension circonférentielle en entrée d'aire de contact et une contraction circonférentielle en sortie d'aire de contact sur un flanc alors que sur l'autre flanc on observe une contraction circonférentielle en entrée d'aire de contact et une extension circonférentielle en sortie d'aire de contact par rapport à une situation à couple d'auto-alignement nul.

Lorsque qu'une sollicitation qui mêle des composantes  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$  est appliquée, on observe une superposition des effets énoncés précédemment sur l'extension dans la direction circonférentielle. Un des avantages de la méthode proposée est de permettre 15 une séparation des contributions de chaque composante de la sollicitation appliquée, de manière à permettre une estimation de chacune de ces composantes.

Définissons l'azimut  $\theta$  comme l'angle auquel on analyse l'extension circonférentielle des flancs. L'origine de l'azimut est prise à l'opposé du centre de l'aire de contact. Le 20 centre de l'aire de contact a donc l'azimut  $180^\circ$ .

L'invention repose sur la remarque suivante : considérons un pneu simplifié muni d'une nervure unique continue. Les figures 2 et 3 représentent un tel pneu. Dans la zone de l'aire de contact, la nervure est soumise à une contrainte verticale qui la plaque contre le sol. On parle souvent de mise à plat, dans l'empreinte du pneu sur le sol. En l'absence 25 de dérive du pneu, une droite formée par des points de repère pris sur la nervure de façon à ce qu'ils soient alignés dans l'empreinte de contact avec le sol sont ensuite, lors de la rotation du pneu, compris dans un plan qui contient ladite droite définie lorsque les points étaient dans l'empreinte de contact. Si l'on applique un angle de dérive au pneu 30 en roulage, le plan contenant lesdits points de repère lorsqu'ils sont suffisamment éloignés de l'empreinte de contact au sol forme un angle égal à l'angle de dérive avec les points de repère lorsqu'ils sont alignés dans l'empreinte de contact avec le sol. Sur la

figure 4, on peut observer en trait plein la nervure vu de dessus sans dérive et en pointillés la nervure avec une dérive imposée. Plus on s'enfonce dans l'aire de contact, plus la nervure est cisaillé et plus la contrainte latérale qui s'applique est grande. Si l'angle de dérive est suffisant, il existe dans l'aire de contact un point  $G_1$  où cette contrainte latérale devient supérieure au potentiel d'adhérence maximum  $\mu_1$ , la nervure se met à glisser. Cette situation est représentée en trait mixte sur la figure 4.

La force latérale  $F_{y1}$  générée par le pneu est égale à l'intégrale dans l'aire de contact de la contrainte latérale.

10

Si le pneu est placé à un endroit où le potentiel d'adhérence maxi  $\mu_2$  est plus faible que  $\mu_1$ , il est nécessaire d'augmenter l'angle de dérive pour que le pneu génère la même force de poussée  $F_y$ . La zone de glissement commence désormais au point  $G_2$  plus proche de l'entrée de l'aire de contact. La figure 5 permet de comparer les deux situations.

15

Entre ces deux configurations, les efforts latéraux sont les mêmes (même aire sous la courbe) mais le point d'application de la force  $F_y$  s'est déplacé. Plus le potentiel d'adhérence maxi diminue, c'est à dire plus le coefficient d'adhérence diminue, plus le point d'application de la force latérale se déplace vers l'entrée de l'aire de contact.

20

En particulier, il est possible d'utiliser la mesure de l'extension circonférentielle des flancs du pneu pour estimer le potentiel d'adhérence maxi. En effet, comme déjà vu précédemment, l'évaluation du potentiel maxi d'adhérence utilise le positionnement du point d'application des forces  $F_x$  et  $F_y$ . Ce point d'application se déplace dans l'aire de contact en fonction du potentiel d'adhérence, en provoquant une modification de l'extension circonférentielle. De la même manière que la mesure de l'extension circonférentielle des flancs en plusieurs azimuts permet d'obtenir le module des forces appliquées (mesure des efforts globaux), elle permet aussi l'estimation de leur point d'application et donc du coefficient d'adhérence maxi.

Une conséquence est que pour le même effort latéral  $F_y$ , les couples d'auto-alignement diffèrent en raison d'un déplacement du point d'application de la force. En théorie, on peut utiliser la mesure des efforts globaux (ici  $F_y$  et  $N$ ) pour estimer le coefficient d'adhérence maxi. En effet, pour un effort  $F_y$  donné, il existe une relation monotone entre le couple d'auto-alignement  $N$  et le potentiel maxi d'adhérence  $\mu$ . Ainsi, dans cet exemple, la mesure simultanée de  $F_y$  et  $N$  permet de mesurer le potentiel d'adhérence maxi  $\mu$  si une zone de glissement existe dans l'aire de contact.

Sur un pneu réel, le fonctionnement est plus complexe et d'autres phénomènes se superposent à ceux retenus dans cet exemple, mais le même principe s'applique pour mesurer le potentiel d'adhérence maxi.

On considère cette fois non seulement  $F_y$  mais aussi  $F_x$  et  $F_z$ , qui peuvent varier et influer au même titre que  $\mu$  sur la géométrie de la zone en glissement et donc sur  $N$ . Il existe donc une fonction  $f$  telle que :

$$N = f(F_x, F_y, F_z, \mu, \dots)$$

La figure 6 représente la fonction  $f$  en fonction de  $F_y$  pour plusieurs niveaux de  $\mu$ ,  $F_x$  constant (0 daN) et  $F_z$  constant (400 daN). On peut observer les trois zones de fonctionnement (Absence de glissement : zone 1, glissement partiel : zone 2, glissement total : zone 3).

Dans les cas correspondant aux zones 2 et 3, soit une fonction  $g$  telle que :

25

$$\mu = g(F_x, F_y, F_z, N, \dots)$$

On peut par exemple la déterminer en utilisant une approche par réseau de neurones. Toutefois, toute autre méthode mathématique permettant d'inverser une fonction ou 30 d'approcher son inverse est utilisable.

L'application d'une approche par réseaux de neurones à l'évaluation ci-dessus montre qu'il existe un domaine I d'efforts  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  dans lequel une telle fonction  $g$  existe. Ce domaine se caractérise physiquement de la façon suivante :

- Il existe une zone de glissement dans l'aire de contact, ce qui permet à  $\mu$  d'avoir un effet sur  $N$ .
- 5 - Pour tout point de ce domaine,  $N$  varie de façon monotone avec  $\mu$  à efforts  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$  fixés.

La figure 7 représente une estimation du domaine I dans lequel il est possible d'obtenir  
10 une estimation directe du potentiel d'adhérence maxi. Ce domaine est constitué de la réunion des zones marquée A, B et C en excluant la zone où il n'y a pas de glissement partiel (zone elliptique autour de  $F_x=0$  et  $F_y=0$ ).

- La partie appelée A correspond à des situations où l'effort latéral est très important. Cette zone correspond par exemple à des virages très serrés.
- 15 - La partie appelée B est la plus fréquentée en utilisation normale du véhicule. Ce sont des situations de freinage et d'accélération légers combinés ou non avec un virage.
- Enfin, la zone C correspond à un freinage très appuyé.

Dans ce domaine I, il est possible de définir un réseau de neurones, de type perceptron,  
20 approchant la fonction inverse  $g$ . Concrètement, la détermination des poids du réseau de neurones peut se faire de la façon suivante :

- Constitution d'une base de données contenant  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$  pour un ensemble de sollicitations du pneu sur des sols présentant des coefficients d'adhérence différents. Des combinaisons des paramètres ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $\mu$ ) sont imposées au pneu. Elles sont enregistrées en même temps que la valeur du couple d'auto-alignement  $N$  mesurée. Cette opération peut être réalisée soit sur une machine munie de différents sols et d'une mesure des efforts et de  $N$ , soit sur un véhicule équipé d'une roue dynamométrique qui mesure  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$  en roulant sur différents sols.
- 25 - Détermination par apprentissage des poids d'un réseau de neurones permettant de reconstruire  $\mu$  à partir de la connaissance de  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$ .
- Test et utilisation de la fonction de transfert ainsi déterminée sur l'ensemble du domaine couvert par l'apprentissage.

Notons ici qu'une façon intéressante de réduire le nombre de paramètres d'entrée consiste à utiliser non pas les efforts  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$  et  $N$  mais les valeurs réduites  $\frac{F_x}{F_z}$ ,

$\frac{F_y}{F_z}$ ,  $\frac{N}{F_z}$ . En procédant d'une manière semblable à celle détaillée précédemment, on

5 obtient alors une fonction  $h$  telle que  $\mu = h(\frac{F_x}{F_z}, \frac{F_y}{F_z}, \frac{N}{F_z}, \dots)$

En ce qui concerne les composantes d'efforts  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et le couple d'autoalignement  $N$ , on peut par exemple les déterminer de la façon suivante, en s'appuyant en partie sur des caractéristiques de parité remarquables qui correspondent aux symétries naturelles  
10 du pneu pour réaliser cette séparation.

Le signal d'extension en fonction de l'azimut  $s(\theta)$  peut alors se décomposer en deux signaux  $s_p(\theta)$  et  $s_i(\theta)$  tels que :

$$s(\theta) = s_p(\theta) + s_i(\theta)$$

$$15 \quad s_i(\theta) = -s_i(-\theta)$$

$$s_p(\theta) = s_p(-\theta)$$

$s_i$  est appelé partie impaire et  $s_p$  partie paire de  $s$  en azimut.

De même, soient  $s^1(\theta)$  et  $s^2(\theta)$  les signaux associés à la mesure de l'extension circonférentielle sur chacun des flancs du pneu et  $S_p^1$ ,  $S_i^1$ ,  $S_p^2$ ,  $S_i^2$  leurs décompositions en partie paire et impaire en azimut. On définit :

$$s_p^p(\theta) = \frac{s_p^1(\theta) + s_p^2(\theta)}{2}$$

$$s_i^p(\theta) = \frac{s_p^1(\theta) - s_p^2(\theta)}{2}$$

$$s_i^p(\theta) = \frac{s_i^1(\theta) + s_i^2(\theta)}{2}$$

$$25 \quad s_i^i(\theta) = \frac{s_i^1(\theta) - s_i^2(\theta)}{2}$$

$s_p^p$  est appelée partie paire en flanc et paire en azimut.

$s_p^i$  est appelée partie impaire en flanc et paire en azimut.

$s_i^p$  est appelée partie paire en flanc et impaire en azimut.

$s_i^i$  est appelée partie impaire en flanc et impaire en azimut.

5

Les efforts  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et le couple d'auto-alignement  $N$  sont de par leurs orientations liés à certaines symétries. En particulier, on peut utiliser ce principe pour découpler les effets des composantes efforts sur le pneu.

10 Ainsi, d'après les observations (figures 8a, 8b, 9a, 9b, 10a et 10b) le signal :

- $s_i^p$  est majoritairement lié à la force  $F_x$ .
- $s_p^i$  est majoritairement lié à la force  $F_y$
- $s_p^p$  est majoritairement lié à la force  $F_z$

15 Les symétries qui s'appliquent permettent de plus d'affirmer que le signal  $s_i^i$  est principalement lié au couple d'auto-alignement  $N$ .

20 Fort de ces observations, la méthode explicitée ici propose de réaliser des mesures de l'extension circonférentielle sur au moins un flanc du pneumatique. Ces mesures permettent grâce à des opérations mathématiques (combinaisons linéaires ou non entre les mesures réalisées aux différents azimuts) d'estimer les valeurs des signaux  $s_i^p$   $s_p^i$   $s_p^p$  et  $s_i^i$  en certains azimuts et par là même de fournir une évaluation des composantes de la force appliquée.

25 Dans le but d'éclairer la démarche, on présente ici quelques exemples d'utilisation de la méthode qui ne sont pas exhaustifs. Considérons le cas où les mesures sont réalisées sur un flanc uniquement.

#### Détermination 1 :

30

On souhaite estimer les composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact et le couple d'auto-alignement à partir de mesures de l'extension circonférentielle d'un flanc

du pneumatique mesurée en trois azimuts. Les azimuts de mesure sont choisis de la manière suivante :

- Un des azimuts correspond au milieu de l'aire de contact (azimut  $180^\circ$ ). Soit  $V_c$  la valeur mesurée à ce point. L'azimut qui correspond à l'opposé de l'aire de contact est utilisable de manière équivalente.
- Les deux autres azimuts sont symétriques par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact. ( $180^\circ+\alpha^\circ$  et  $180^\circ-\alpha^\circ$ ). Soient  $V_1$  et  $V_2$  les valeurs mesurées en ces points.

10

D'après les observations précédentes :

- $V_2-V_1$  permet d'estimer le déséquilibre entre l'entrée d'aire de contact et la sortie. Cette valeur sera principalement liée à la composante  $F_x$ . Une estimation de  $F_x$  est donnée par  $f_x(V_2-rV_1)$  où  $r$  est un coefficient réel positif et  $f_x$  une fonction continue. Le coefficient  $r$  permet de prendre en compte une éventuelle dissymétrie de fonctionnement du capteur. Il est déterminé par exemple de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre  $F_x$  et  $(V_2-rV_1)$ .
- $V_c-(V_1+V_2)$  permet d'estimer la différence entre le passage dans l'aire de contact et l'extérieur de l'aire de contact. Le résultat est ici principalement lié à  $F_z$ . Une estimation de  $F_z$  est donnée par  $f_z(V_c-(s_1V_1+s_2V_2))$  où  $s_1$ ,  $s_2$  sont des coefficients réels positifs et  $f_z$  une fonction continue. Les coefficients  $s_1$  et  $s_2$  sont déterminés par exemple de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre  $F_z$  et  $V_c-(s_1V_1+s_2V_2)$ .
- $V_c+V_1+V_2$  donne une indication sur l'extension globale du flanc. Cette valeur sera principalement liée à la composante  $F_y$  de la force appliquée. Une estimation de  $F_y$  est donnée par  $f_y(V_c+u_1V_1+u_2V_2)$  où  $u_1$  et  $u_2$  sont des coefficients réels positifs et  $f_y$  une fonction continue. Les coefficients  $u_1$  et  $u_2$  sont déterminés par exemple de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre  $F_y$  et  $V_c+u_1V_1+u_2V_2$ .

30

Dans cette détermination, on estime quatre composantes ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$ ) à partir de trois mesures d'extension circonférentielle. En effet, il existe des cas où le couple d'auto-alignement est directement et uniquement dépendant des composantes  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$ . On peut alors l'estimer aussi. Dans le cas où le couple d'auto-alignement dépend 5 d'autres paramètres, il est nécessaire de mesurer l'extension circonférentielle des flancs en un nombre plus important d'azimuts.

#### Détermination 2 :

- 10 On souhaite estimer les composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact et le couple d'auto-alignement à partir de mesures de l'extension circonférentielle d'un flanc du pneumatique mesurée en cinq azimuts. Dans ce cas particulier, lesdites caractéristiques sont déduites d'au moins cinq mesures de variation de distance circonférentielle (extension ou contraction) effectuées dans au moins un flanc du pneu, 15 en cinq points fixes dans l'espace, situés à des azimuts différents le long de la circonférence, puis ledit coefficient d'adhérence  $\mu$  est déduit desdites caractéristiques. Les azimuts de mesure sont choisis de la manière suivante :
  - Un des azimuts correspond au milieu de l'aire de contact (azimut  $180^\circ$ ). Soit  $V_c$  la valeur mesurée à ce point.
  - Deux autres azimuts sont symétriques par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact. ( $180^\circ + \alpha^\circ$  et  $180^\circ - \alpha^\circ$ ). Soient  $V_1$  et  $V_2$  les valeurs mesurées en ces points.
  - Les deux derniers azimuts sont symétriques par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact. ( $180^\circ + \beta^\circ$  et  $180^\circ - \beta^\circ$ ). Soient  $V_3$  et  $V_4$  les valeurs mesurées en ces points.
- 20 Des combinaisons de même nature mais un peu plus complexes que celles exposées dans l'exemple 1 permettent dans ce cas de déterminer les composantes  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$  y compris dans les cas où le couple d'auto-alignement n'est pas uniquement dépendant des composantes  $F_x$ ,  $F_y$  et  $F_z$ .
- 25 Considérons maintenant le cas où les mesures sont réalisées sur les deux flancs.

Détermination 3 :

On souhaite estimer les composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact et le couple d'auto-alignement à partir de mesures de l'extension circonférentielle des deux flancs du pneumatique mesurée en deux azimuts sur chaque flanc. Les azimuts de mesure sont choisis de façon symétrique par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact ( $180^\circ + \alpha^\circ$  et  $180^\circ - \alpha^\circ$ ).  $\alpha$  doit être différent de  $\alpha_0$  pour pouvoir estimer  $F_z$ . Soient  $V_1^1$  et  $V_2^1$  les valeurs mesurées à ces azimuts sur le premier flanc, et  $V_1^2$  et  $V_2^2$  les valeurs mesurées à ces azimuts sur le second flanc.

10

Grâce à ces quatre valeurs, il est possible de déterminer les composantes en utilisant la décomposition suivant les parités en azimut et en flanc :

- $V_1^1 + V_1^2 + V_2^1 + V_2^2$  donne la composante paire en azimut et en flanc. Cette combinaison est donc directement liée à  $F_z$ . Une estimation de  $F_z$  est donnée par  $f_z(a_1V_1^1 + a_2V_2^1 + b_1V_1^2 + b_2V_2^2)$  où  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$  sont des réels positifs et  $f_z$  une fonction continue. Les coefficients  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$  sont par exemple déterminés de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre  $F_z$  et  $a_1V_1^1 + a_2V_2^1 + b_1V_1^2 + b_2V_2^2$ .
- $V_1^1 + V_1^2 - (V_2^1 + V_2^2)$  donne la composante impaire en azimut et paire en flanc. Cette combinaison est donc directement liée à  $F_x$ . Une estimation de  $F_x$  est donnée par  $f_x(c_1V_1^1 - c_2V_2^1 + d_1V_1^2 - d_2V_2^2)$  où  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $d_1$  et  $d_2$  sont des réels positifs et  $f_x$  une fonction continue. Les coefficients  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $d_1$  et  $d_2$  sont par exemple déterminés de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre  $F_x$  et  $c_1V_1^1 - c_2V_2^1 + d_1V_1^2 - d_2V_2^2$ .
- $V_1^1 - V_1^2 + (V_2^1 - V_2^2)$  donne la composante paire en azimut et impaire en flanc. Cette combinaison est donc directement liée à  $F_y$ . Une estimation de  $F_y$  est donnée par  $f_y(e_1V_1^1 + e_2V_2^1 - f_1V_1^2 - f_2V_2^2)$  où  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $f_1$  et  $f_2$  sont des réels positifs et  $f_y$  une fonction continue. Les coefficients  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $f_1$  et  $f_2$  sont par exemple déterminés de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre  $F_y$  et  $e_1V_1^1 + e_2V_2^1 - f_1V_1^2 - f_2V_2^2$

- $V_1^1 - V_1^2 - (V_2^1 - V_2^2)$  donne la composante impaire en azimut et impaire en flanc. Cette combinaison est donc directement liée à N. Une estimation de N est donnée par  $f_n(g_1 V_1^1 - g_2 V_2^1 - h_1 V_1^2 + h_2 V_2^2)$  où  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $h_1$  et  $h_2$  sont des réels positifs et  $f_n$  une fonction continue. Les coefficients  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $h_1$  et  $h_2$  sont par exemple déterminés de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre N et  $g_1 V_1^1 - g_2 V_2^1 - h_1 V_1^2 + h_2 V_2^2$

5 Par ce type de disposition, on utilise au maximum les symétries du pneumatique et pouvons espérer une très bonne précision de la reconstruction des composantes de la sollicitation appliquée dans l'aire de contact.

10

#### Détermination 4 :

On souhaite estimer les composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact et le couple d'auto-alignement à partir de mesures de l'extension circonférentielle des deux 15 flancs du pneumatique mesurée en trois azimuts sur chaque flanc. Les azimuts de mesure sont choisis de la manière suivante :

- Deux azimuts choisis de façon symétrique par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact ( $180^\circ + \alpha^\circ$  et  $180^\circ - \alpha^\circ$ ). Soient  $V_1^1$  et  $V_2^1$  les valeurs mesurées à ces 20 azimuts sur le premier flanc, et  $V_1^2$  et  $V_2^2$  les valeurs mesurées à ces azimuts sur le second flanc
  - Un azimut correspondant au centre de l'aire de contact. Soient  $V_c^1$  et  $V_c^2$  les valeurs mesurées à ces azimuts.
- 25 Le traitement est similaire à celui de la détermination 3. Les valeurs  $V_c^1$  et  $V_c^2$  permettent une certaine redondance de l'information mais surtout une meilleure estimation de la composante Fz.

Dans le cas où  $\alpha$  est pris égal à  $\alpha_0$ , on obtient l'information sur Fz grâce à  $V_c^1$  et  $V_c^2$  et 30 l'information sur Fx, Fy et N par  $V_1^1$ ,  $V_1^2$ ,  $V_2^1$  et  $V_2^2$ . On utilise ainsi une possibilité supplémentaire de découplage des différentes contributions.

Avantageusement, dans le but d'affiner les estimations des composantes des efforts et de prendre en compte le fonctionnement non linéaire du pneu, la méthode décrite fait appel à des fonctions de transfert plus évoluées pour relier les mesures aux estimations des efforts. Toute fonction d'interpolation permettant d'établir un lien entre les 5 grandeurs mesurées et les valeurs des composantes de la sollicitation appliquée peut être utilisée dans ce cadre.

- Bien que tous les exemples listés ici utilisent des azimuts de mesure choisis pour tirer parti au mieux des symétries du pneu et faciliter la reconstruction, le choix de la 10 position de azimuts auxquels les valeurs sont mesurées est libre (la symétrie des azimuts n'est pas en soi obligatoire) car toute combinaison d'un nombre suffisant de mesures permet une estimation des composantes de la sollicitation appliquée. Il est possible, dans ce cas de rechercher directement les fonctions donnant les composantes  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$  en fonction des mesures d'extension circonférentielle du ou des flancs en des 15 azimuts connus. La détermination des fonctions de transfert n'est plus nécessairement basée sur l'analyse de la mécanique du pneumatique mais sur la réponse du pneumatique en terme d'extension circonférentielle du ou des flancs aux efforts qu'il subit.
- 20 Que les azimuts de mesure soient choisis grâce à une analyse physique ou décidés de manière plus arbitraire, les réseaux de neurones semblent bien adaptés pour établir une fonction de transfert entre les mesures réalisées et les composantes des efforts  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$ . Parmi les schémas les plus simples applicables, on peut retenir l'utilisation de réseaux à une couche de neurones cachés et une couche de neurones de sortie. Ces 25 neurones cachés utilisent une fonction de transfert sigmoïde. Les neurones de sortie utilisent quant à eux une fonction de transfert linéaire (figure 11). La propriété de parcimonie de ce type de réseau employé comme approximateur est ici très intéressante. Il est possible d'utiliser un réseau par composante à estimer ou un réseau permettant grâce à plusieurs sorties d'estimer toutes les composantes.
- 30 Si les azimuts de mesure ont été choisis de manière à tirer parti des symétries ou de remarques physiques, il peut être intéressant de réaliser des combinaisons linéaires entre

les grandeurs avant l'entrée dans le réseau. Dans ce cas, une analyse en composantes principales permettra de déterminer de façon judicieuse les coefficients de ces combinaisons et simplifiera le réseau de neurones nécessaire. On obtient l'architecture décrite sur la figure 12.

5

Concrètement, on opère de la façon suivante :

- La première étape consiste après avoir déterminé les azimuts de mesure à recueillir les valeurs de l'extension circonférentielle du ou des flancs lors de sollicitations variées du pneumatique choisies de façon à couvrir tout le domaine dans lequel 10 l'évaluation des efforts sera permise en utilisation normale. Les sollicitations choisies doivent aussi mettre en œuvre tous les couplages susceptibles d'être rencontrés lors d'une utilisation normale. L'ensemble de valeurs mesurées et des efforts associés (obtenus par un autre moyen de mesure) constitue la base d'apprentissage.
- La seconde étape consiste à réaliser l'apprentissage des poids du réseau sur la base ainsi constituée. A l'issue de cette phase, on dispose des fonctions de transfert.
- Une troisième étape consiste à tester les fonctions de transfert en confrontant les estimations des composantes d'effort aux efforts indiqués par un autre moyen de mesure.

20

Outre les réseaux de neurones, il est possible d'employer par exemple des fonctions polynomiales.

25

Naturellement, bien d'autres variables (en plus des mesures d'extension circonférentielle) peuvent être prises en compte selon le même principe pour améliorer l'efficacité de cette détermination (par exemple, la pression ou la température du pneumatique).

30

De manière générale, le nombre de points de mesure peut être plus important que les configurations minimales présentées dans les exemples et permettre un résultat plus précis ou plus sûr du fait de la redondance des informations disponibles.

La mesure de l'extension circonférentielle du ou des flancs du pneumatique peut se faire de n'importe quelle manière, par un dispositif externe ou un dispositif interne au pneu. A titre d'exemple, on décrit ici pour réaliser la mesure de l'extension circonférentielle l'utilisation d'un ou de capteurs placés dans le pneu et donc entraînés en rotation par le  
5 pneu.

- Ce ou ces capteurs intégrés au pneu, par exemple dans un flanc du pneu, et mesurant localement l'extension circonférentielle du ou des flancs peuvent faire appel à n'importe quel principe physique de mesure. Il peut par exemple s'agir de capteurs diélectriques  
10 mesurant une variation de capacité liée à la distance qui sépare deux électrodes. Les électrodes peuvent être constituées d'un fil conducteur placé de manière radiale dans le flanc. Cette disposition permet une mesure de « l'écart fils » par mesure de la capacité entre les électrodes. S'il est actif, le capteur peut être alimenté soit par le véhicule par télialimentation soit par une batterie embarquée sur la roue ou dans le pneu ou par tout  
15 autre moyen. Tout est aussi possible en ce qui concerne la transmission de l'information vers le véhicule, par voie radio ou autre. Le capteur en lui même doit pouvoir fournir une information en continu ou avec une fréquence de rafraîchissement suffisamment rapide par rapport à la période de rotation de la roue.  
20 Cette approche utilisant un capteur intégré au pneu a l'avantage de permettre une connaissance de l'extension circonférentielle du ou des flancs à tous les azimuts du pneumatique puisque un capteur, entraîné par le pneu, explore l'ensemble des azimuts lors d'une rotation de la roue.  
25 La méthode de reconstruction des composantes des efforts étant basée sur la mesure de l'extension circonférentielle à certains azimuts, se pose le problème de la localisation du capteur pour extraire les valeurs aux bons azimuts.

Le capteur est interrogé à une fréquence constante et connue. Il délivre donc un signal  
30 temporel de la variation de l'extension circonférentielle locale. Un signal mesuré est présenté en figure 13. Sur ce signal temporel, On reconnaît aisément la signature d'un tour de roue que l'on a observée précédemment (figures 1, 8a, 8b, 9a et 9b). Outre la

signature de chaque tour de roue, ce signal est bruité. La première opération consiste à réduire ce bruit en appliquant un filtre passe bas dont la fréquence de coupure peut être liée à la vitesse de rotation de la roue.

5 Plusieurs cas de figure peuvent alors se présenter suivant les équipements disponibles :

- Si l'on dispose d'une mesure de la position angulaire de la roue, il est possible de connaître les instants auxquels le capteur passe à l'azimut de mesure. La lecture des valeurs mesurées à ces instants fournit la valeur de l'extension circonférentielle aux azimuts désirés. Cette mesure de la position angulaire de la roue peut, par exemple être obtenue par un comptage des transitions d'un capteur ABS de vitesse de rotation de la roue.
- Si aucun dispositif externe n'est disponible pour faciliter la localisation du capteur, on ne peut utiliser que le signal du capteur lui-même. L'invention propose d'utiliser le signal du capteur pour estimer la position angulaire de la roue.

15

Chaque passage du capteur dans l'aire de contact a pour signature une très forte extension circonférentielle des flancs du pneumatique. En utilisant cette observation, il est possible de trouver les instants où le capteur passe au centre de l'aire de contact. La méthode la plus simple pour réaliser cette opération consiste à réaliser un seuillage du signal filtré et à rechercher les maxima parmi les valeurs supérieures à ce seuil (figure 14). Cette approche permet de ne pas détecter les maxima qui ne correspondent pas au passage dans l'aire de contact.

25 A chaque détermination d'un nouveau passage dans l'aire de contact, la connaissance des instants des derniers passages (au moins 3 passages) permet d'estimer la vitesse de rotation de la roue et son accélération. Grâce à ces estimations, il est possible de reconstruire une évaluation de l'azimut auquel le capteur se trouve en fonction du temps. Il devient alors possible d'extraire des mesures en fonction du temps les valeurs à certains azimuts.

30

Plusieurs possibilités s'offrent alors pour la mise en œuvre de la mesure. En effet, la détermination des composantes des efforts nécessite des mesures à plusieurs azimuts.

Une première approche consiste à n'utiliser qu'un capteur sur chaque flanc pour lequel on souhaite avoir des mesures. A chaque passage à une position requise, la valeur donnée par le capteur est prise en compte pour rafraîchir la mesure à l'azimut considéré.

- 5 En faisant l'hypothèse que les composantes des efforts varient lentement par rapport à la vitesse de rotation de la roue, un seul capteur permet ainsi d'obtenir les mesures à tous les azimuts nécessaires à la reconstruction des efforts. La figure 15 présente ce type de fonctionnement avec un modèle (fonction de transfert) qui nécessite des mesures à trois azimuts ( $0^\circ$ ,  $120^\circ$  et  $240^\circ$ ).

10

- Une deuxième approche consiste à disposer plusieurs capteurs sur la circonférence de façon à ce qu'au moins une fois par tour les capteurs se trouvent simultanément aux azimuts auxquels on désire réaliser une mesure. Il est ainsi possible d'obtenir une image de la déformation du pneu en différents azimuts à un instant donné ce qui ne nécessite plus que les efforts varient lentement par rapport à la rotation de la roue. Une variante de cette approche consiste à disposer les capteurs de manière équi-répartie autour du pneu. Ainsi, dans le cas où l'on a placé N capteurs, la situation où les capteurs sont bien positionnés se produit au moins N fois par tour. La figure 16 présente ce type de fonctionnement avec trois capteurs qui tombent trois fois par tour sur les azimuts où la mesure doit être réalisée ( $0^\circ$ ,  $120^\circ$  et  $240^\circ$ ).

Enfin, il est possible de mixer les approches précédentes.

L'augmentation du nombre de capteurs permet en particulier :

- 25 • d'augmenter la fréquence de rafraîchissement de l'estimation des efforts,
- d'augmenter la robustesse vis à vis des variations rapides des composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact.

Notons que plusieurs modèles peuvent être déterminés qui prennent en entrée les 30 mesures à des azimuts différents. Même avec un unique capteur, il est ainsi possible d'obtenir plusieurs estimations à chaque tour de roue. La figure 17 donne un exemple

dans lequel trois capteurs sont utilisés. Deux fonctions de transfert sont déterminées. La première utilise des mesures à  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  et  $240^\circ$ , la seconde à  $60^\circ$ ,  $180^\circ$  et  $300^\circ$ . Lorsque les capteurs tombent sur les positions de mesures désirées, la fonction de transfert peut être appliquée. En gérant convenablement les capteurs, il est même possible dans ce type de disposition de réaliser une estimation des efforts 6 fois par tour de roue. Ces estimations par plusieurs modèles peuvent être moyennées ou confrontées pour augmenter la précision et diminuer le bruit dans l'estimation des efforts.

Revenons au domaine D. Celui-ci est plus ou moins étendu selon les pneus (et pouvant même ne pas exister) sur la figure 7 correspond à une zone où il peut exister plusieurs quadruplets ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $\mu$ ) dont l'image par  $f$  est le même couple d'auto-alignement N. Il n'est par conséquent pas possible de trouver directement une fonction inverse  $g$  sur ce domaine.

Il est néanmoins possible, en utilisant une technique de codage (par exemple une technique de codage semi-distribué), de proposer plusieurs valeurs de  $\mu$  lorsqu'un quadruplet  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $N$  de ce domaine est rencontré. A chaque valeur de  $\mu$  proposée, on peut alors associer une probabilité. Si elles permettent d'améliorer les résultats, ces méthodes présentent toujours le problème du choix de la bonne valeur de  $\mu$  à retenir.

Des propriétés de continuité dans le temps peuvent aider à choisir. Imaginons que, au cours du temps, le point de fonctionnement de l'ensemble monté passe du domaine C au domaine B puis D (figure 7). Dans les domaines C et B, l'estimation de  $\mu$  était proche de  $\mu_1$ . Imaginons que, dans le domaine D, on soit subitement confronté à deux valeurs possibles de  $\mu$ . Par continuité, on peut choisir la valeur la plus proche de  $\mu_1$  en faisant l'hypothèse que le sol n'évoluerait pas si rapidement. Toutefois, si l'indétermination subsiste après quelques évaluations supplémentaires, il se peut réellement que le sol ait changé. Dans ce cas, on ne peut écarter la valeur différente de  $\mu_1$ . Il est alors à nouveau nécessaire de faire un choix.

Comme on le voit, l'existence dans certains cas de ce domaine non inversible peut rendre la méthode exposée précédemment difficile à utiliser (par exemple pour des

raisons de sécurité). Des méthodes levant à coup sur cette indétermination sont par conséquent particulièrement intéressantes.

Le déplacement du point d'application des forces dans l'aire de contact peut avoir lieu suivant la direction X d'une valeur dx ou la direction Y d'une valeur dy. Le fait de ne mesurer que  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$  ne permet pas de déterminer indépendamment dx et dy. Il en résulte une indétermination sur la position, indétermination qui peut créer le problème de non inversibilité.

On a pu montrer que la connaissance d'informations supplémentaires permettrait de rendre le domaine D inversible. Considérons par exemple l'approche suivante. Le couple d'auto-alignement N peut se décomposer de la manière suivante :

$$N = F_y \cdot dx - F_x \cdot dy = N_y - N_x,$$

dx et dy étant les coordonnées du point d'application de la résultante des forces  $F_x$  et  $F_y$ .

Le fait d'utiliser  $N_x$  et  $N_y$  à la place de N permet de trouver une fonction définie sur l'ensemble du domaine de sollicitations créant un glissement partiel donnant une estimation de  $\mu$ . Il n'y a dans ce cas aucune ambiguïté sur les valeurs de  $\mu$  dans tout le domaine. Connaître à la fois  $N_x$ ,  $N_y$  et les efforts permet de localiser le point d'application des forces dans l'aire de contact (les valeurs dx et dy ci-dessus) et d'en déduire  $\mu$ .

Pour obtenir les valeurs de  $N_x$  et  $N_y$ , on peut par exemple mesurer les trois couples L, M, N. (L : moment autour de l'axe X, M autour de l'axe Y et N autour de Z). les valeurs de dx et de dy sont alors obtenues comme solution d'un système linéaire. En effet, si dx, dy et dz sont les coordonnées du point d'application de la force, on peut écrire :

$$L = F_z \cdot dy - F_y \cdot dz$$

$$M = F_x \cdot dz - F_z \cdot dx$$

$$N = F_y \cdot dx - F_x \cdot dy$$

En considérant l'angle de carrossage comme petit, dz est très fortement lié à la charge Fz du pneumatique. Il est aussi possible de prendre en compte les corrections à introduire en fonction des efforts Fx et Fy appliqués. Pour un pneumatique donné dans des conditions connues (pression) le lien  $dz = f(Fx, Fy, Fz, P)$  est connu avec une assez  
5 bonne précision par exemple par l'intermédiaire d'une fonction d'approximation tel un réseau de neurones.

Dans le cas d'une sollicitation principalement dans la direction Fx, on utilise la seconde relation pour obtenir  $dx = \frac{Fx.dz - M}{Fz}$ . dy est alors obtenu par la troisième  
10 relation  $dy = \frac{Fy.dx - N}{Fx}$ .

Dans le cas d'une sollicitation principalement dans la direction Fy, on utilise la première relation pour obtenir  $dy = \frac{L + Fy.dz}{Fz}$ . dx est alors obtenu par la troisième relation

$$dx = \frac{N + Fx.dy}{Fy}$$

Dans le cas de sollicitations couplées, il est possible d'utiliser l'une ou l'autre des  
15 relations ou les deux de manière à augmenter la précision. Connaissant dx et dy, l'éventuelle indétermination est levée.

D'autres grandeurs permettent de lever cette indétermination. En particulier, il est possible d'utiliser la mesure de l'extension circonférentielle des flancs du pneu pour  
20 estimer le potentiel d'adhérence maxi. En effet, comme déjà vu précédemment, l'évaluation du potentiel maxi d'adhérence utilise le positionnement du point d'application des forces Fx et Fy. Ce point d'application se déplace dans l'aire de contact en fonction du potentiel d'adhérence, en provoquant une modification de l'extension circonférentielle. La mesure de l'extension circonférentielle des flancs en  
25 plusieurs azimuts permet d'obtenir le module des forces appliquées (mesure des efforts globaux) ; elle permet aussi l'estimation de leur point d'application et donc du coefficient d'adhérence maxi.

Parmi les nombreuses variantes possibles pour la mesure de l'extension circonférentielle, notons les approches suivantes :

- La mesure de l'extension circonférentielle des flancs par capteur(s) intégrés au(x) flanc(s) du pneu. Un tel capteur tourne avec le pneu, il parcourt donc tous les azimuts et, si l'on sait le positionner, il permet une mesure en tous les azimuts. Il est possible dans ce cas, pour disposer des valeurs d'extension circonférentielle en plusieurs azimuts, d'utiliser une hypothèse de stationnarité des efforts et de  $\mu$  pendant une portion de tour de roue pour utiliser les valeurs données par un même capteur en différents azimuts (gain sur le nombre de capteurs) ou il est possible de privilégier le temps de réponse et d'équiper le pneu de plusieurs capteurs placés à différents azimuts. Tout panachage est bien sûr possible.
- La mesure de l'extension circonférentielle des flancs par capteur(s) externe(s) au pneu. Dans ce cas, des capteurs externes au pneu observent les flancs et permettent la mesure de l'extension circonférentielle. Il faut a priori autant de capteurs que d'azimuts à observer.

Dans tous les cas, la méthode proposée pour estimer le coefficient d'adhérence nécessite de solliciter le pneu par des efforts  $F_x$ ,  $F_y$  ou les deux combinés. En effet, il est absolument nécessaire qu'il existe une zone de glissement dans l'aire de contact pour que la démarche présentée s'applique. Grâce à cette méthode, on est certain d'avoir une estimation de la limite d'adhérence avant de l'atteindre. Toutefois, lorsque le pneu est très peu sollicité, l'estimation est imprécise ou fausse (absence de glissement de l'aire de contact). Pour cette raison, il est proposé de s'intéresser au pourcentage de potentiel d'adhérence utilisé défini de la façon suivante :

25

$$p_u = \frac{\mu_{utilisé}}{\mu} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{\mu \cdot F_z}$$

Cette grandeur présente l'intérêt d'être plus facilement correctement estimée en grandeur absolue quelle que soit la sollicitation, même faible, appliquée au pneu. On l'obtient de manière directe par exemple par un réseau de neurones en appliquant la démarche présentée pour l'estimation de  $\mu$ . La figure 19 présente un exemple de

reconstruction du potentiel d'adhérence maxi et du pourcentage de potentiel utilisé. Le couple moteur ou freineur (glissement lié à  $F_x$ ) et la force transversale (dérive liée à  $F_y$ ) varient au cours du temps ainsi que le sol sur lequel roule le véhicule. La charge  $F_z$  est imposée. Lorsque la sollicitation du pneu est faible ( $F_x$  et  $F_y$  faibles simultanément) par 5 exemple au temps 4 s, la qualité de l'estimation du potentiel d'adhérence maxi chute. L'estimation du pourcentage de potentiel utilisé reste quant à elle tout à fait correcte.

Dans le cadre d'une utilisation par un système embarqué dans un véhicule (système mécatronique, par exemple de type ESP ou ABS), il est intéressant de disposer d'une 10 grandeur définie sur tout le domaine d'utilisation. Il est par exemple envisageable d'utiliser le pourcentage de potentiel d'adhérence utilisé pour affiner les mécanismes de régulation des systèmes ABS ou ESP.

REVENDICATIONS

- 5     1. Méthode de détermination des caractéristiques formées par les trois composantes  
d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un  
pneumatique et le couple d'auto-alignement généré par le pneu, et par le coefficient  
d'adhérence  $\mu$  dans l'aire de contact d'un pneu sur une chaussée, comportant les  
étapes suivantes :
- 10    • sélectionner plusieurs points fixes dans l'espace, situés à des azimuts différents  
le long de la circonférence dans au moins un flanc du pneu,
- 15    • effectuer autant de mesures de variation de distance circonférentielle (extension  
ou contraction) à ces points fixes lorsque le pneu roule sur la chaussée
- 20    • traiter les signaux de mesure de façon à en extraire les trois composantes d'une  
résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et du couple  
d'auto-alignement généré par le pneu,
- 25    • traiter les signaux d'évaluation des trois composantes d'une résultante d'efforts  
exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et du couple  
d'auto-alignement généré par le pneu de façon à en extraire ledit coefficient  
d'adhérence  $\mu$ .
- 30    2. Méthode selon la revendication 1, dans laquelle lesdites caractéristiques sont  
déduites d'au moins cinq mesures de variation de distance circonférentielle  
(extension ou contraction) effectuées dans au moins un flanc du pneu, en cinq points  
fixes dans l'espace, situés à des azimuts différents le long de la circonférence, puis  
ledit coefficient d'adhérence  $\mu$  est déduit desdites caractéristiques.
- 35    3. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la mesure de la variation  
circonférentielle est effectuée par au moins un capteur intégré dans un flanc du  
pneu, le signal délivré par ledit capteur étant traité pour relever sa valeur en  
plusieurs azimuts correspondant auxdits points fixes.

4. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la mesure de la variation circonférentielle est effectuée par autant de capteurs que d'azimuts à observer, les capteurs étant externes au pneu et disposés dans l'espace fixe.
- 5 5. Méthode selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que l'on établit une fonction de transfert entre les mesures, les caractéristiques et le coefficient d'adhérence maxi par les étapes suivantes :
- constitution d'une base de données contenant  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $N$  et  $\mu$  pour un ensemble de sollicitations du pneu sur des sols présentant des coefficients d'adhérence différents, les paramètres  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $\mu$  étant imposées au pneu, la valeur du couple d'auto-alignement  $N$  étant mesurée,
  - détermination par apprentissage des poids d'un réseau de neurones permettant de reconstruire  $\mu$  à partir de la connaissance de  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $N$ .
- 15 6. Méthode selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que l'on établit une fonction de transfert entre les mesures, les caractéristiques et le coefficient d'adhérence maxi par les étapes suivantes :
- constitution d'une base de données contenant  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $N$  et  $\mu$  pour un ensemble de sollicitations du pneu sur des sols présentant des coefficients d'adhérence différents, les paramètres  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et  $\mu$  étant imposées au pneu, la valeur du couple d'auto-alignement  $N$  étant mesurée,
  - calcul des valeurs réduites  $\frac{F_x}{F_z}$ ,  $\frac{F_y}{F_z}$ ,  $\frac{N}{F_z}$ ,
  - détermination par apprentissage des poids d'un réseau de neurones permettant de reconstruire  $\mu$  à partir de la connaissance de  $\frac{F_x}{F_z}$ ,  $\frac{F_y}{F_z}$ ,  $\frac{N}{F_z}$ .
- 25 7. Méthode selon l'une des revendications 1 à 4 dans laquelle, étant posé que

$$N = F_y \cdot dx - F_x \cdot dy = N_y - N_x$$

où  $dx$  est la distance du point d'application de la force  $F_y$  au plan vertical passant par le centre de l'aire de contact et orthogonal à l'axe X,

où  $d_y$  est la distance du point d'application de la force  $F_x$  au plan vertical passant par le centre de l'aire de contact et orthogonal à l'axe Y,  
les valeurs de  $N_x$  et  $N_y$  sont obtenues à partir des mesures des trois couples L, M, N,  
L étant le moment autour de l'axe X, M le moment autour de l'axe Y et N le  
5 moment autour de Z.

8. Méthode selon la revendication 5 ou 6, utilisant un réseau de neurones du type perceptron.
- 10 9. Méthode selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que l'on estime la variation circonférentielle par la mesure de la distance entre les fils de la nappe carcasse dans les flancs.
- 15 10. Méthode selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que l'on estime la variation circonférentielle par la mesure de la distance entre des fils formant un capteur mesurant une variation de capacité liée à la distance qui sépare deux électrodes.
- 20 11. Méthode selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que l'on estime en outre les efforts  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  et l'on détermine le pourcentage de potentiel d'adhérence utilisé de la façon suivante :

$$p_u = \frac{\mu_{utilisé}}{\mu} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{\mu \cdot F_z}$$

- 25 12. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'on utilise au moins trois points fixes dans l'espace définis tels que :
  - un des points corresponde à l'azimut du centre de l'aire de contact ou l'azimut du point opposé à l'aire de contact ;
  - les deux autres points soient symétriques par rapport à un plan vertical passant par le centre de l'aire de contact.

13. Méthode selon la revendication 1 dans laquelle, les azimuts de mesure étant choisis de façon symétrique par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact ( $180^\circ + \alpha^\circ$  et  $180^\circ - \alpha^\circ$ ), avec  $\alpha$  différent de  $\alpha_0$ , où  $\alpha_0$  est l'azimut en entrée de l'aire de contact,  $V_1^1$  et  $V_2^1$  étant les valeurs mesurées à ces azimuts sur le premier flanc, et  $V_1^2$  et  $V_2^2$  les valeurs mesurées à ces azimuts sur le second flanc :

- 5 •  $f_z(a_1 V_1^1 + a_2 V_2^1 + b_1 V_1^2 + b_2 V_2^2)$  où  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  et  $b_2$  sont des coefficients réels positifs et  $f_z$  une fonction continue est une estimation de la composante  $F_z$ ,
- 10 •  $f_x(c_1 V_1^1 - c_2 V_2^1 + d_1 V_1^2 - d_2 V_2^2)$  où  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $d_1$  et  $d_2$  sont des coefficients réels positifs et  $f_x$  une fonction continue, est une estimation de la composante  $F_x$ ,
- $f_y(e_1 V_1^1 + e_2 V_2^1 - f_1 V_1^2 - f_2 V_2^2)$  où  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $f_1$  et  $f_2$  sont des coefficients réels positifs et  $f_y$  une fonction continue est une estimation de la composante  $F_y$ ,
- 10 •  $f_n(g_1 V_1^1 - g_2 V_2^1 - h_1 V_1^2 + h_2 V_2^2)$  où  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $h_1$  et  $h_2$  sont des coefficients réels positifs et  $f_n$  une fonction continue est une estimation du couple d'auto-alignement  $N$ .

15 14. Méthode selon la revendication 1 dans laquelle, les azimuts de mesure étant choisis de façon symétrique par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact ( $180^\circ + \alpha^\circ$  et  $180^\circ - \alpha^\circ$ ), avec  $\alpha$  différent de  $\alpha_0$ , où  $\alpha_0$  est l'azimut en entrée de l'aire de contact, et  $V_1$  et  $V_2$  étant les valeurs mesurées en ces autres azimuts,

- 20 •  $f_x(V_2 - rV_1)$  où  $r$  est un coefficient réel positif et  $f_x$  une fonction continue est une estimation de  $F_x$ ,
- $f_z(V_c - (s_1 V_1 + s_2 V_2))$  où  $s_1$  et  $s_2$  sont des coefficients réels positifs et  $f_z$  une fonction continue est une estimation de  $F_z$ ,
- $f_y(V_c + u_1 V_1 + u_2 V_2)$  où  $u_1$  et  $u_2$  sont des coefficients réels positifs et  $f_y$  une fonction continue est une estimation de  $F_y$ ,

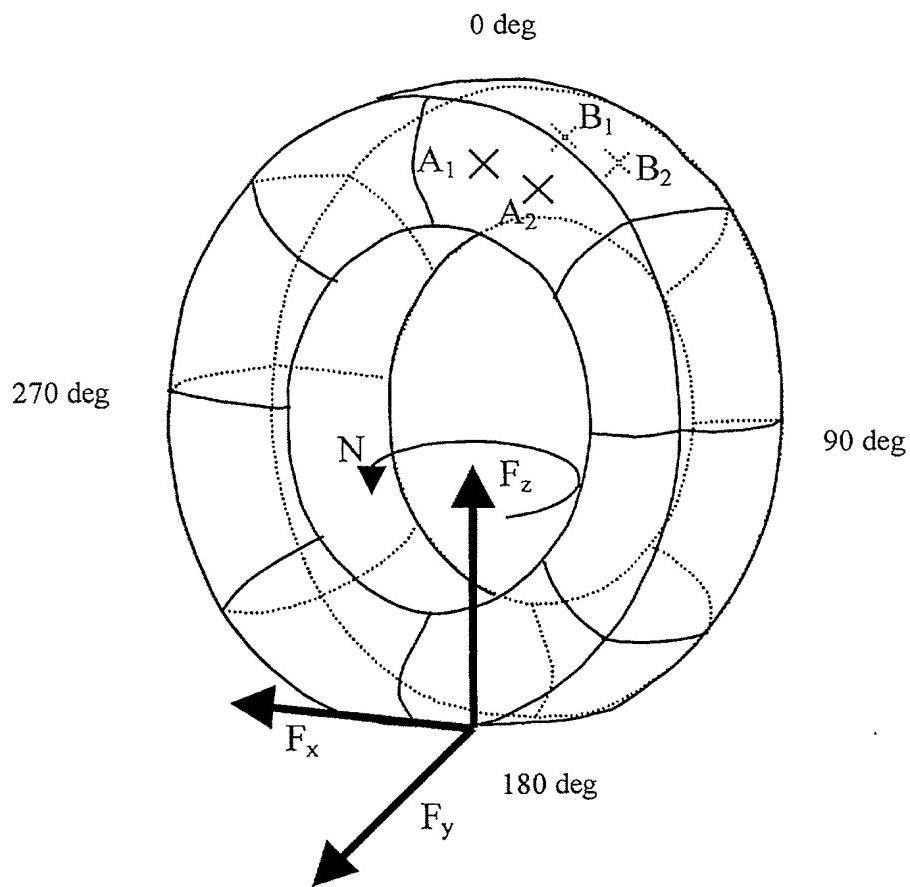


Figure 1

Figure 2

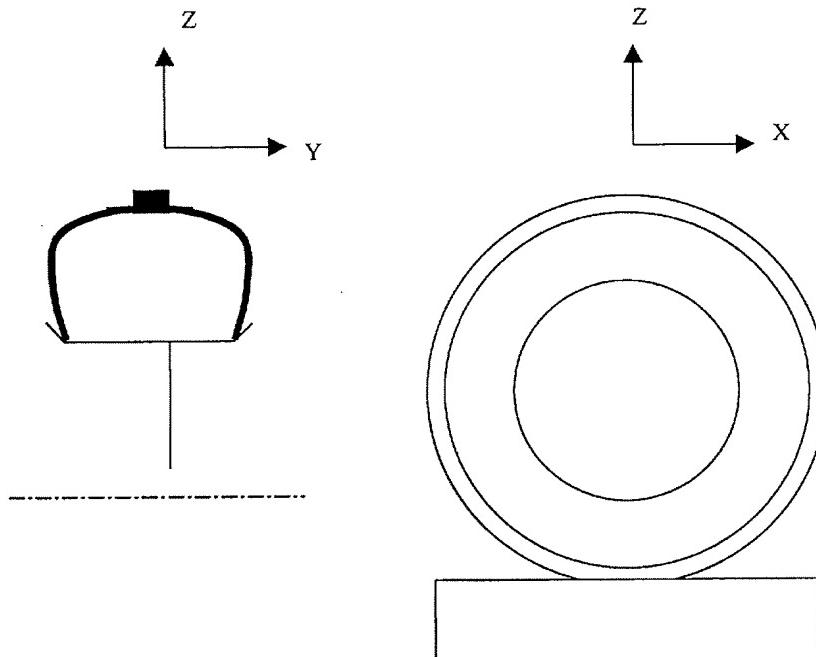


Figure 3

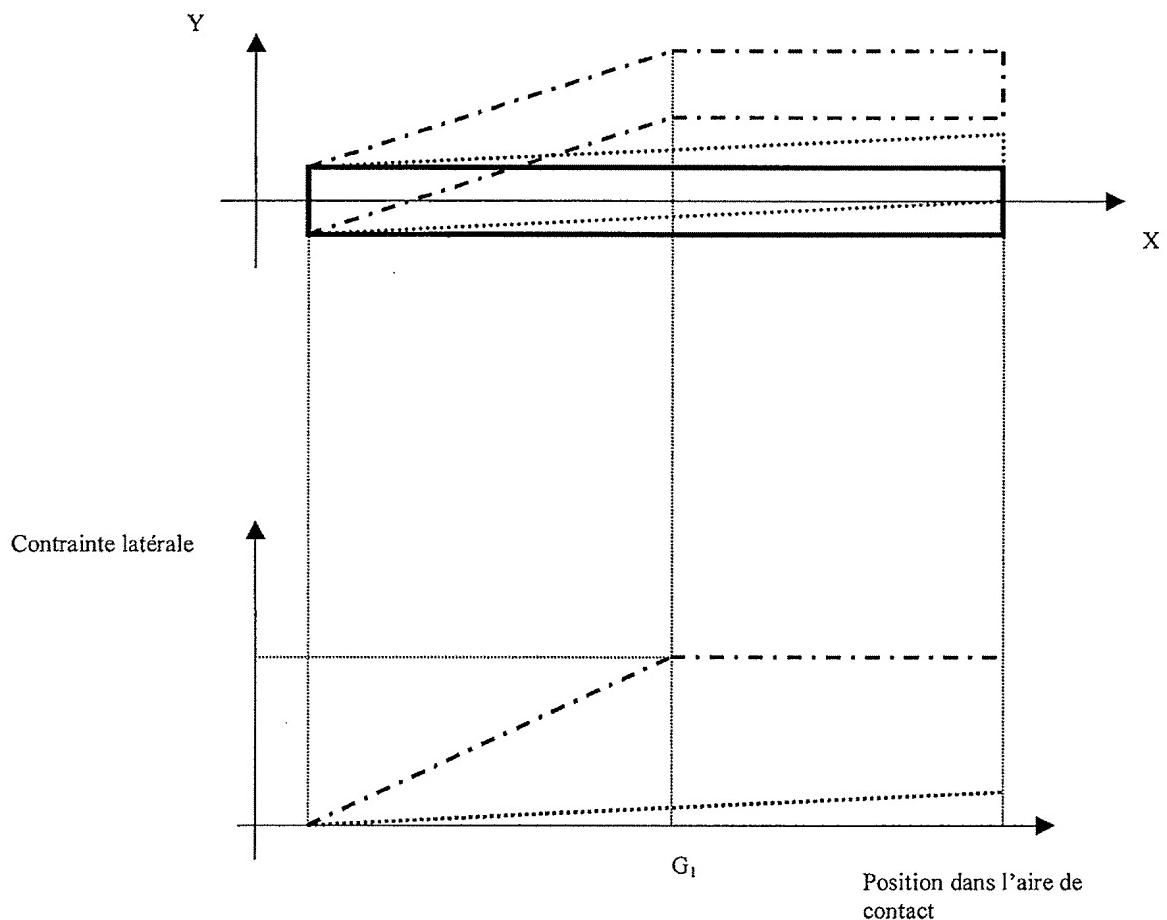


Figure 4

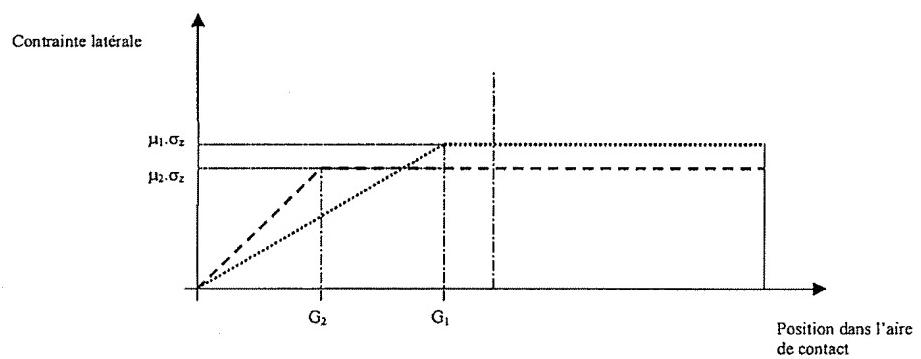


Figure 5

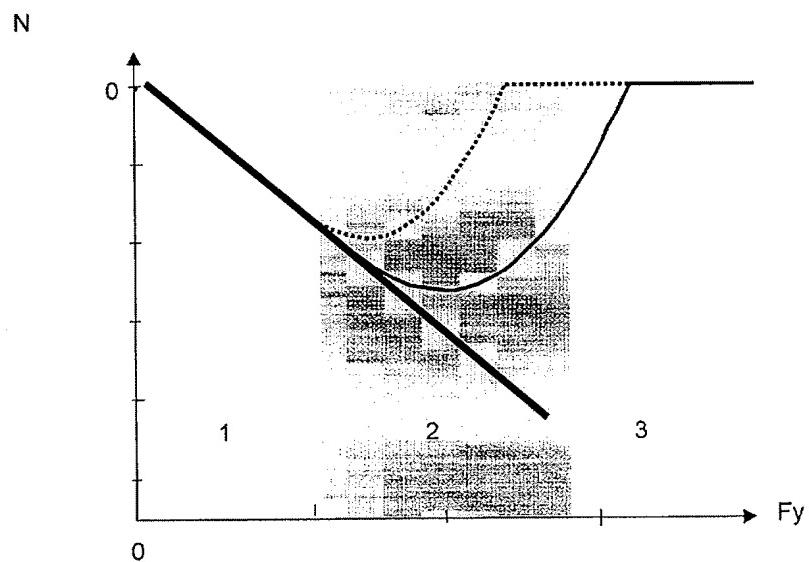


Figure 6

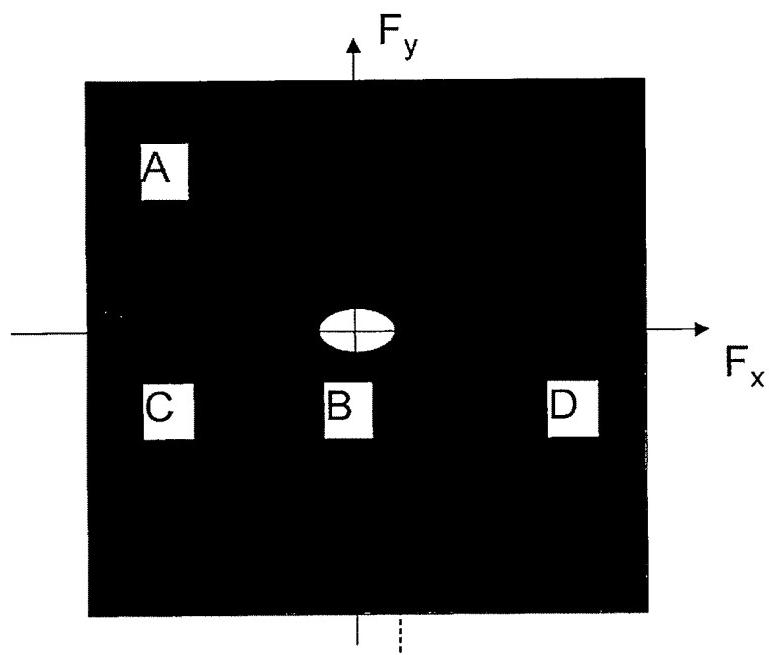
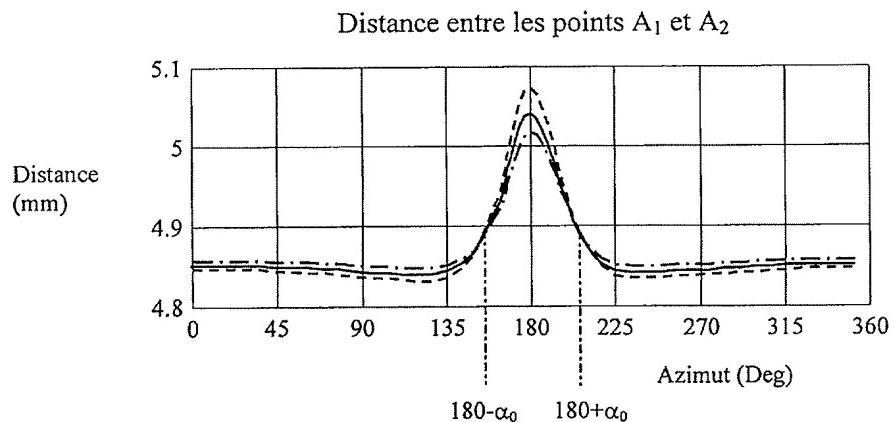
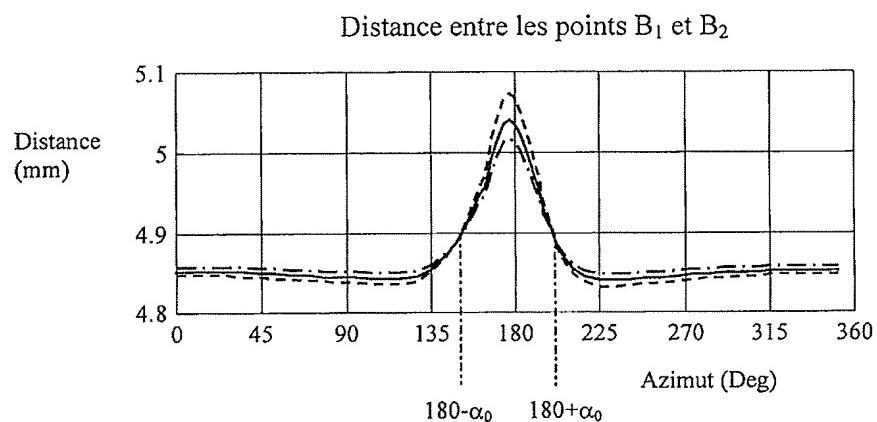


Figure 7

**Figure 8a****Figure 8b**

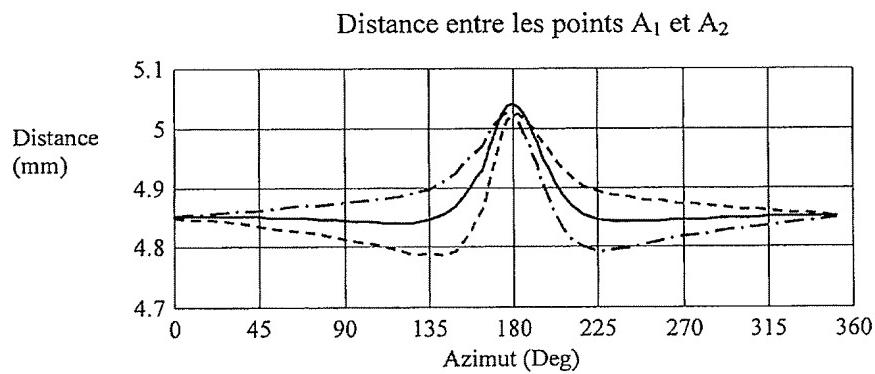


Figure 9a

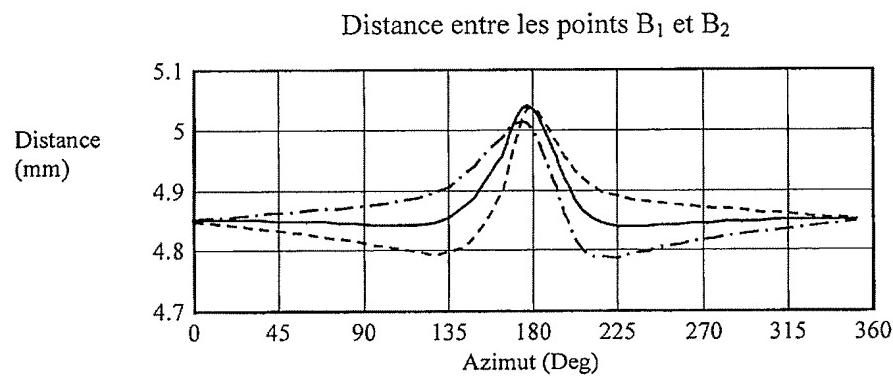
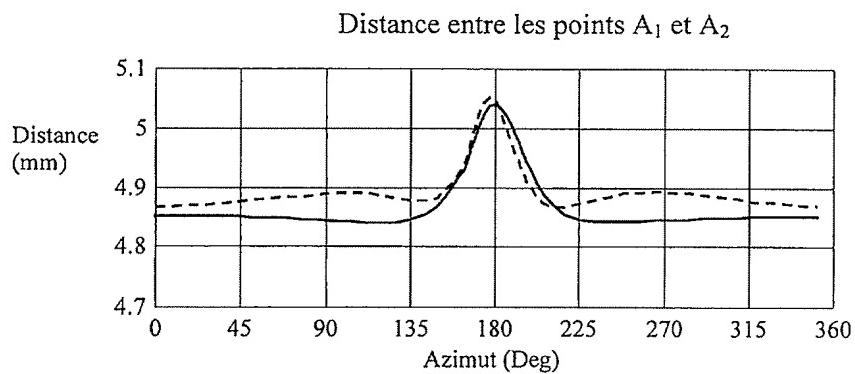
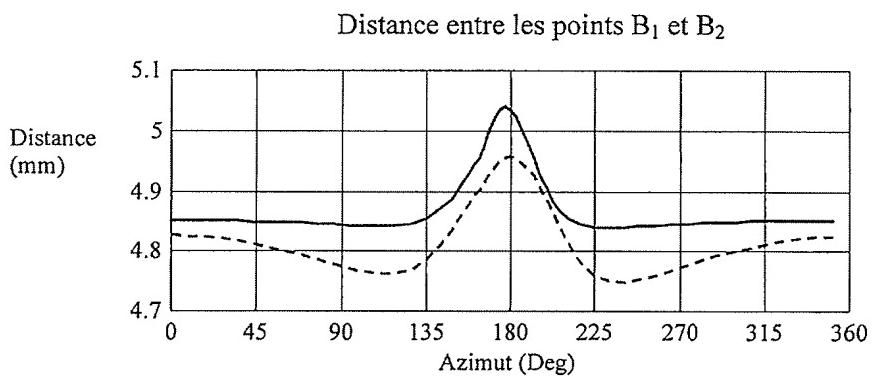


Figure 9b



**Figure 10a**



**Figure 10b**

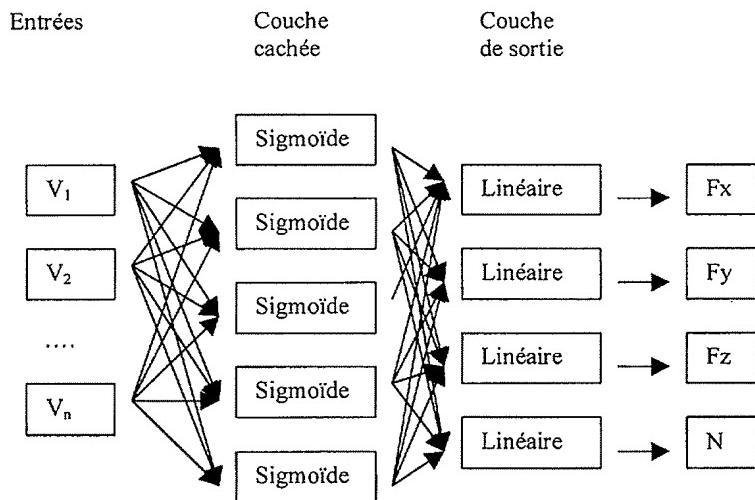


Figure 11

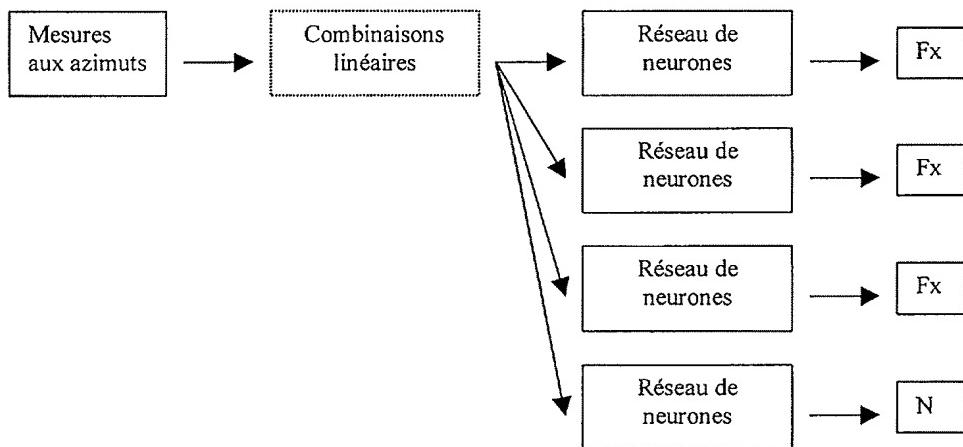
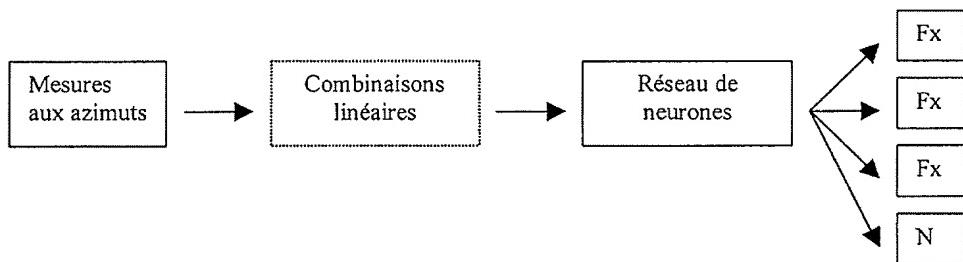
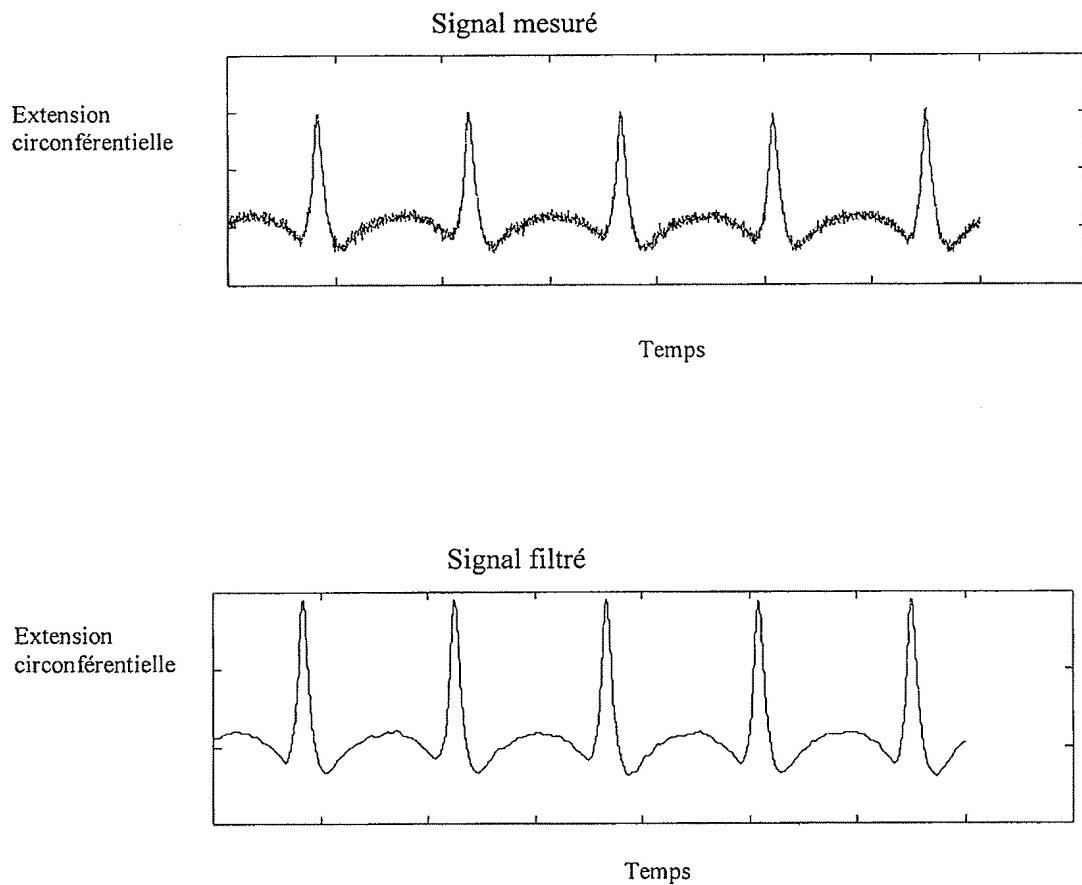


Figure 12



**Figure 13**

Principe du seuillage

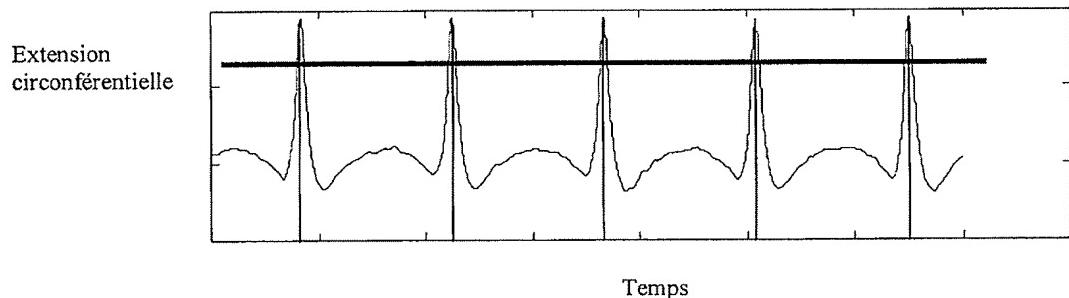


Figure 14

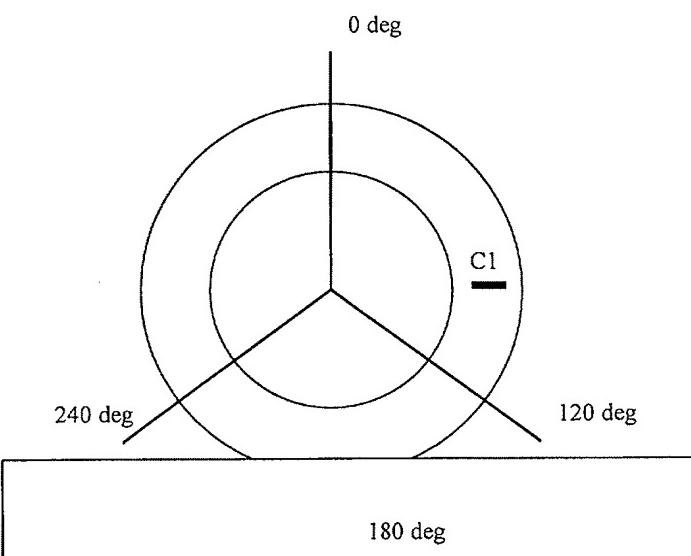


Figure 15

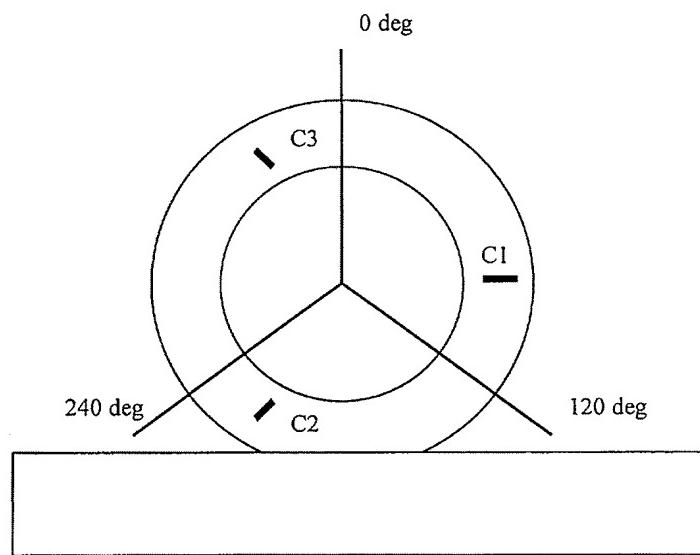


Figure 16

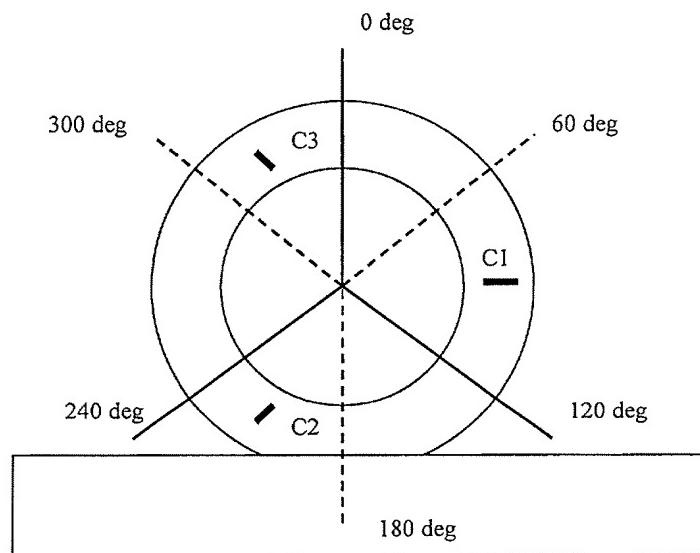


Figure 17

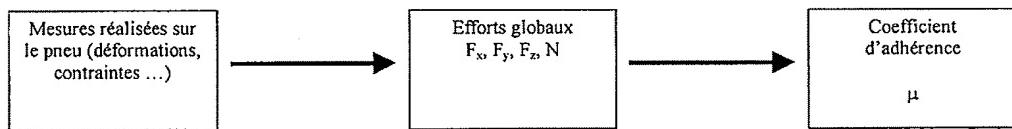


Figure 18

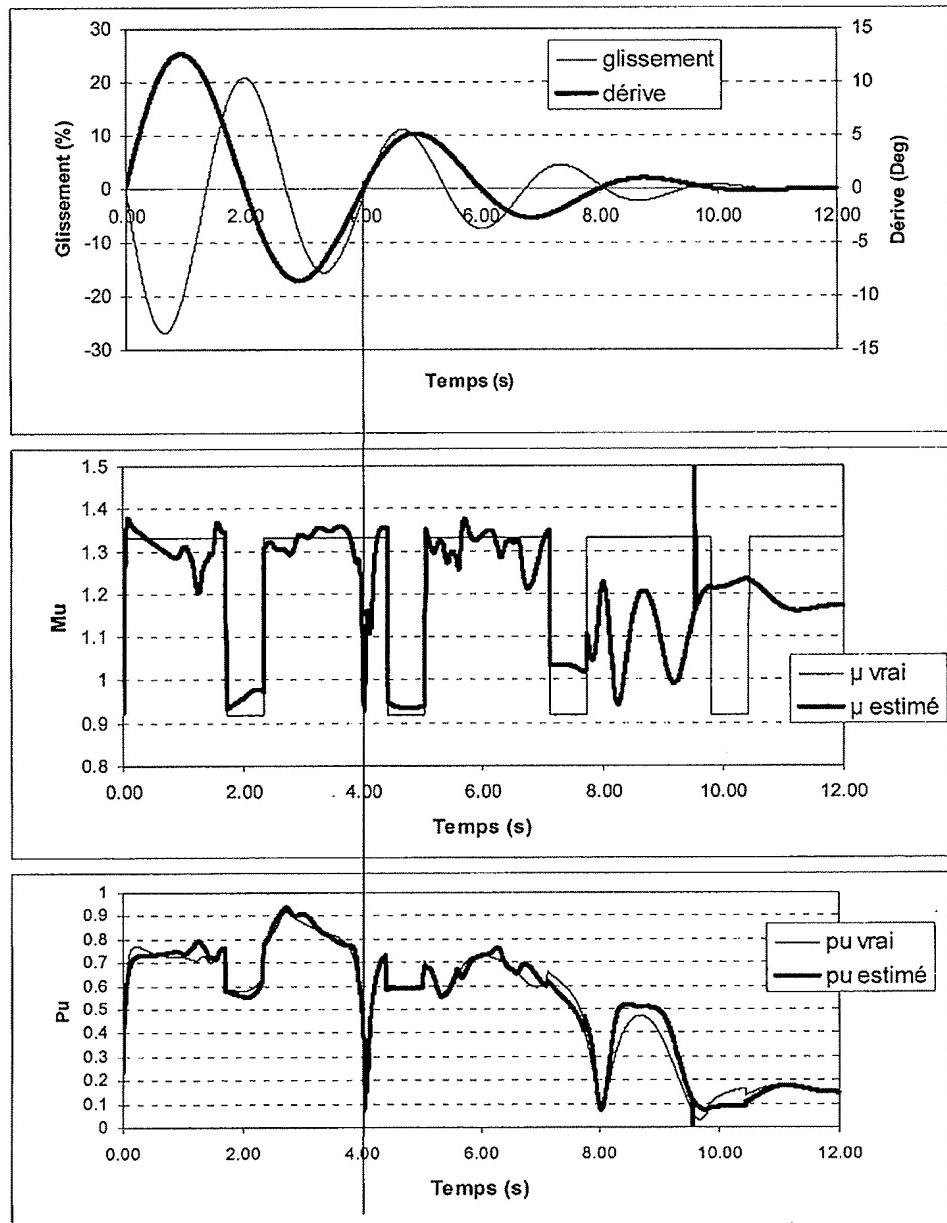


Figure 19

2835919

N° d'enregistrement  
national
**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications  
 déposées avant le commencement de la recherche

 FA 614354  
 FR 0201597

<b>DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS</b>		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	WO 01 92078 A (CONTINENTAL AG ; GIUSTINO JAMES M (US)) 6 décembre 2001 (2001-12-06) * abrégé * * page 18, ligne 20 - ligne 23 * * figures 3,4 * ---	1,3,5,6, 8	G01N19/02 G01M17/02
A	EP 0 937 615 A (SIEMENS AG) 25 août 1999 (1999-08-25) * colonne 16, ligne 15 - colonne 17, ligne 21 * * figures 12,16,17 * ---	1	
A	US 2002/011093 A1 (MATSUNO KOJI) 31 janvier 2002 (2002-01-31) * abrégé * * figure 7 * ---	1	
A	US 5 964 265 A (BECHERER THOMAS) 12 octobre 1999 (1999-10-12) * Le document en entier * ---	1	
A	DE 39 39 917 A (BOSCH GMBH ROBERT) 6 juin 1991 (1991-06-06) * Le document en entier * ---	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)  B60T
2			
Date d'achèvement de la recherche  2 octobre 2002		Examinateur  Colonna, M	
<b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie  A : arrière-plan technologique  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

2835919

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0201597 FA 614354**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **02-10-2002**.  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française.

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0192078	A	06-12-2001	AU WO	6524701 A 0192078 A2	11-12-2001 06-12-2001
EP 0937615	A	25-08-1999	DE EP	19807004 A1 0937615 A2	09-09-1999 25-08-1999
US 2002011093	A1	31-01-2002	JP DE	2002012160 A 10130879 A1	15-01-2002 04-04-2002
US 5964265	A	12-10-1999	DE EP	19646235 C1 0841550 A2	02-04-1998 13-05-1998
DE 3939917	A	06-06-1991	DE WO DE EP JP KR	3939917 A1 9108129 A1 59002663 D1 0456774 A1 4503790 T 186829 B1	06-06-1991 13-06-1991 14-10-1993 21-11-1991 09-07-1992 01-05-1999

EPO FORM P046S